

KAJIAN KESELAMATAN KRITIKALITAS PADA RANCANGAN TANGKI V-401 UNTUK MENYIMPAN LARUTAN URANIL NITRAT (UN) DIPERKAYA U_{235} SAMPAI 5%

Bambang G Susanto

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN

Kawasan Puspipstek, Serpong, Tangerang

ABSTRAK

KAJIAN KESELAMATAN KRITIKALITAS PADA RANCANGAN TANGKI V-401 UNTUK MENAMPUNG LARUTAN URANIL NITRAT (UN) DIPERKAYA U_{235} SAMPAI 5%. Telah dilakukan kajian keselamatan kritikalitas padarancangan tangki V-401 untuk mengetahui apakah tangki penyimpanan tersebut dapat digunakan untuk menampung larutan uranil nitrat diperkaya U_{235} sampai 5%. Dengan menggunakan program *Monte Carlo Code Neutron Particle* (MCNP) versi 4.C untuk tangki V-401, diperoleh harga K_{eff} sebesar 0.98657 bila ketinggian cairan UN mencapai 120 cm. Harga K_{eff} mencapai 1.01101 bila ketinggian cairan UN pada posisi 130 cm. Harga K_{eff} akan semakin besar yaitu 1.15679 bila ketinggian cairan UN mencapai 330 cm (batas kapasitas penuh). Desain tangki V-401 tidak aman secara geometri karena volume dan diameter tangki terlalu besar. Namun demikian, kalau racun netron gelas *raschig ring* borosilikat dimasukkan (mengisi hampir 1/3 volume tangki) hasil analisis menunjukkan harga $K_{eff} = 0.030$ untuk ketinggian cairan UN 330 cm. Harga K_{eff} akan tetap konstan di sekitar harga 0.030 untuk berbagai variasi koordinat sumber netron. Tangki V-401 tetap dapat digunakan walaupun tidak aman secara geometri, jika diisi dengan racun netron dari gelas *raschig ring* borosilikat, untuk menurunkan harga $K_{eff} < 1$.

Katakunci: kritikalitas, keselamatan, uranium diperkaya

ABSTRACT

CRITICALITY SAFETY ASSESSMENT ON THE DESIGN OF TANK V-401 TO ACCUMULATE THE URANYL NITRATE SOLUTION ENRICHED U_{235} UP TO 5%. The criticality safety assessment has been conducted to tank of V-401 to know whether the tank can accumulate the uranyl nitrate solution enriched U_{235} up to 5%. By using Monte Carlo Code Neutron Particle (MCNP) program version 4C for tank V-401, is obtained the value of K_{eff} 0.98657 when the height of fluid of UN reach up to 120 cms. The value of K_{eff} would be 1,01101 when the height of UN fluid at the position of 130 cms. The value of K_{eff} will reach up to 1,15679 when the height of UN fluid has reached the position 330 cms (full capacity limit). Tank design V-401 is not safe geometrically because volume and tank diameter were too large. However, if neutron poison of glass raschig borosilicate ring is filled to the tank (fills approximately 1/3 tank volume) the result of analysis shows the value of $K_{eff} = 0.030$ at the UN fluid position 330 cms. The value of K_{eff} would constantly be around value of 0.030 for various coordinates source of neutron. The tank V-401 still can be utilized even though is not safe geometrically, if the tank is filled with neutron poison of glass raschig borosilicate ring to reduce the value of $K_{eff} < 1$.

Keywords: criticality, safety, enriched uranium

PENDAHULUAN

Salah satu faktor penting dalam pengolahan bahan bakar nuklir dengan U_{235} diperkaya atau Pu_{239} adalah keselamatan kritikalitas dari unit produksi. Tangki dan berbagai alat proses pengolah bahan bakar harus aman secara geometri bila akan digunakan untuk mengolah uranium diperkaya atau Pu_{239} .

Tim Pra Studi Kelayakan Pabrik Elemen Bakar Nuklir telah melakukan kajian pada unit Pabrik Pilot Konversi (PPK) yang ada di gedung 65 PTBN-BATAN untuk mengetahui apakah unit tersebut dapat melarutkan gagal pelet UO_2 diperkaya U_{235} sampai 5%. Demikian pula pada fasilitas pendukungnya sebagai alternatif lokasi pendirian pabrik elemen bakar nuklir di Indonesia.^[1]

PPK untuk memproses *yellow cake* menjadi serbuk UO_2 dengan kapasitas 100 kg UO_2 /hari yang ada di gedung 65 PTBN – BATAN, saat ini dalam tahap revitalisasi dan ditargetkan beroperasi secara normal tahun 2010. Kualitas peralatan tersebut secara visual sangat bagus dan menurut analisis secara kualitatif dapat melayani pelarutan gagal pellet UO_2 yang diperkaya sampai 5%.

Pellet UO_2 yang difabrikasi menjadi elemen bakar nuklir tipe PWR tidak semuanya memenuhi kualifikasi untuk dijadikan berkas elemen bakar, tetapi ada yang gagal karena tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Pellet yang gagal harus diolah-ulang kembali dan dipulihkan sebagai pellet UO_2 yang dapat sinter dan selanjutnya difabrikasi kembali menjadi berkas elemen bakar.

Seksi 400 dari instalasi PPK mempunyai kemampuan untuk memurnikan

larutan uranil nitrat (UN) yang keluar dari unit *dissolver* (seksi 300). Seksi 400 tersusun dari peralatan proses seperti: pesawat pengaduk pengenal (MS-401 dan MS-402, tangki penampung UN dari *Dissolver* (V-401); tangki penampung limbah asam (V-402 a/b), dan tangki penampung larutan Uranil Nitrat hasil stripping (V-404 a/b/c), tangki penampung limbah basa (V-405 a/b/c). Larutan UN masuk tangki V-401 dirancang dengan konsentrasi $U = 300$ g/L, asam bebas $HNO_3 = 3$ M, dan volumenya 293,827 L/catu, densitas $UN = 1.523$ g/cc, $UNH = 1,26$ mol/L.^[2]

Kajian keselamatan kekritisan dari desain Tangki V-401 (Lihat Gambar 1) sangat diperlukan untuk mengetahui apakah tangki ini mampu dan dapat dialih fungsikan untuk menyimpan larutan UN diperkaya dengan U_{235} sampai 5%. Oleh karena itu geometri dari tangki V-401 perlu diverifikasi, dikaji ulang dengan *Program Monte Carlo Code Neutron*

Particle (MCNP) versi 4 C.



Gambar 1: Tangki penampung V-401

Unit produksi bahan bakar nuklir yang menggunakan U_{235} diperkaya dalam proses produksinya berpotensi terjadi reaksi fisi berantai. Reaksi tersebut akan kritis bila setiap neutron yang membentuk reaksi fisi terjadi rata-rata satu neutron untuk membentuk reaksi fisi baru, agar populasi neutron secara

$$K_{eff} = \frac{\text{Kecep produksi neutron}}{\text{Kecepatan (Abs.netron+netron bocor)}} \quad (1)$$

$K_{eff} = \frac{k_{\infty}}{(1+M^2+B^2)}$ statistik tetap sama terhadap waktu. Neutron lainnya akan hilang baik karena diserap atau bocor ke sekeliling sistem. Pengukuran suatu kekritisitas biasanya dinyatakan dengan faktor multiplikasi efektif (K_{eff}) yang dinyatakan dengan persamaan sbb [3,4].

dengan :

k_{∞} = faktor multiplikasi tak berhingga untuk bahan bakar unit tunggal.

B^2 = *buckling* yang tergantung dari bentuk dan dimensi dari unit tunggal yg ditinjau.

M^2 = *migration area* dari neutron dalam bahan bakar.

Dalam suatu unit produksi bahan bakar nuklir yang menggunakan U diperkaya masalah kekritisitas perlu dipahami mengingat ada sembilan (9) parameter yang dapat mengontrol terjadinya kekritisitas. Parameter tersebut adalah massa, densitas, persen pengkayaan, geometri (volume dan dimensi), refleksi, interaksi, moderasi (internal atau

interstisial), komposisi, dan penyerap neutron.⁽⁵⁾

Dari sembilan parameter tersebut tidak ada parameter yang berdiri bebas satu sama lain. Perubahan massa uranium yang diperkaya akan menyebabkan perubahan volume. Perubahan densitas akan menyebabkan perubahan dalam komposisi dan geometri. Perubahan moderasi internal menyebabkan perubahan dalam komposisi, densitas dan volume. Perubahan satu parameter akan menyebabkan sekurang-kurangnya satu parameter lainnya juga berubah.^[5]

Salah satu faktor penting yang perlu dihitung secara teliti dan dimasukkan dalam program MCNP adalah densitas atom dari masing-masing senyawa yang berinteraksi dengan atom U_{235} . Densitas atom tersebut dirumuskan sbb :

$$N_z = N_{mix} = \frac{\rho_{mix} \cdot N_{av} \cdot N_{av}}{M_{mix}} \quad (2) \quad (1)$$

Dengan :

N_z = Densitas atom campuran senyawa Z

ρ_{mix} = densitas campuran

N_{AV} = Bilangan Avogadro

M_{mix} = Berat molekul campuran

Apabila senyawa campuran yang berinteraksi dengan atom U_{235} mengandung atom Hidrogen misalnya senyawa itu uranil nitrat maka perbandingan atom H dan Atom U_{235} mengikuti rumus sbb: [3]

Uranil Nitrat :

$$\frac{H}{U} = \frac{\left[\frac{26089 - 600 \times 2M}{gU/l} \right]}{[1.00858 \times f_{233} + f_{235} + 0,98736 \times f_{238}]}$$

dengan : H/U = perbandingan atom H dan U_{235} ;

f_{233} = fraksi atom U_{233} dalam larutan UN ;

f_{238} = fraksi atom U_{238} dalam larutan UN ;

M = mol asam bebas HNO_3 dalam larutan UN

f_{235} = fraksi atom U_{235} dalam larutan UN

gU/L = konsentrasi U dalam larutan per liter

Penggunaan bahan yang dapat menyerap neutron, seperti cadmium dan boron, yang terdistribusi merata pada bahan dapat belah dapat mengurangi terjadinya kekritisitas. Bahan penyerap neutron harus sesuai dengan bahan yang diproses, tidak boleh larut atau hilang, terkorosi atau tak terdistribusi merata dalam sistem. Penyerap neutron yang banyak dipakai untuk proses produksi bahan bakar nuklir yang menangani U diperkaya adalah bahan gelas borosilikat berbentuk *raschig ring*.^[6] Gelas borosilikat (lihat Gambar 2) berbentuk rashig ring dimasukkan dalam tangki-tangki proses produksi yang diperkirakan tidak aman secara geometri.



Gambar 2: Gelas *Raschig* –Ring Sebagai Penyerap Neutron

Tangki penyimpan larutan yang mengandung bahan dapat belah yang cukup besar sehingga tidak aman secara geometri, maka sekitar $\frac{1}{4}$ atau $\frac{1}{3}$ dari volumenya dikorbankan untuk ditempati gelas borosilikat. Dengan cara penempatan gelas borosilikat, akan lebih efisien dibanding dengan menggunakan tangki panjang berdiameter kecil atau tangki berbentuk *slab*.

Apabila volume fraksi dari gelas *raschig ring* antara 0.24 sampai 0.32, maka tangki itu dapat dipakai untuk menyimpan larutan UN dengan konsentrasi antara 270 gU/L sampai 400 g U/L yang diperkaya dengan U_{235} .

Cara lain adalah dengan menanamkan bahan penyerap neutron padat (plat cadmium atau boron carbida) saat konstruksi dan perakitan peralatan^[4,6].

TATA KERJA

Untuk melakukan analisis geometri suatu alat yang terkait dengan kekritisitas dilakukan analisis dengan program *Montecarlo Code Neutron Particle* (MCNP) versi 4C dengan tahapan sebagai berikut^(7,8):

- Dibuat "*file input*" dengan *acro* edit dan *file* tersebut disimpan sebagai *file ANSI* (*save *.**).
- Diganti baris input yang paling atas dengan *Titel* dari kalkulasi yang akan dilakukan. Dalam hal ini *titel* tersebut adalah "PERHITUNGAN KEKRITISITAS TANGKI V-602 PENYIMPAN PRODUK URANIL NITRAT. (*titel* tidak lebih dari 80 karakter)
- Baris kedua dari *file input* adalah *cell card* yang berisi:
 - Nomor *cell* - Geometri
 - Nomor material - Parameter
 - *Cell material density*.
- Baris ketiga dari *file input* dikosongi.
- Baris keempat dari *file input* berisi *surface card*, yaitu batasan permukaan benda yang di model dengan urutan sbb:
 - Nomor permukaan (angka 1 sampai st.)
 - Jenis permukaan (apakah selinder, bidang dst.). Ada 6 spasi yg harus disediakan antara nomor permukaan dan jenis permukaan.
 - Jarak permukaan dengan sumbu yg kita pilih dengan diberi spasi 1, tanda + berarti di atas sumbu, sedangkan tanda – berarti di bawah sumbu.
- Baris *file input* berikutnya dikosongkan
- Baris *file input* berikutnya diisi data card dengan diisi data sbb:
Code 1000 1.0 15 115 → yang mempunyai arti:

1000 = jumlah neutron 1000 per *cycle*

1.0 = K_{eff} awal diambil 1.

15 = jumlah *cycle* yang tidak digunakan untuk menghitung *cycle*

115 = jumlah *cycle* yang dipakai untuk menghitung K_{eff} oleh komputer.

- Baris berikutnya berisi : ksrc 1. 1. 1. yang berarti sumber neutron ditempatkan atau berada pada koordinat (1,1,1).
- Baris *file input* berikutnya diisi data material yang meliputi:
 - nama material misal m1 sampai m10 pada cell pertama
 - pengisian *reference* materialnya misalnya 92235.60C, untuk U_{235}
 - pengisian fraksi dari materialnya misalnya 3.202646-5
 - Bila ada atom H dalam larutan maka sifat-sifat bahan harus dikoreksi dengan S (α , β) dengan memasukkan tulisan mt1. lwtr.01t. dibawah sifat bahan uranil nitrat (m1).
- Diedit *file RUNIP.BAT* (dengan klik *mouse* sebelah kiri 2x) yang ada di direktori program MCNP versi 4C atau buka *Acro Edit file*, kemudian ganti baris input dengan nama file yg sesuai dengan yang akan di-run, demikian juga dengan baris *output* (tulisan ip diberi spasi).
- Dijalankan RUNIP.BAT dari WINDOW EXPLORER yg terletak di direktori C yang ada program MCNP versi 4.C, untuk melihat geometri dari input sekaligus untuk melihat apakah model geometri sudah benar, dengan perintah ketik LABEL 0.
- Diedit *file RUN.BAT* (dengan klik *mouse* sebelah kiri 2x) di direktori program MCNP versi 4C, atau buka *Acro Edit file*, dengan mengganti baris input dengan nama file yg sesuai dengan yang akan di-run, demikian juga dengan baris *output*
- Dijalankan RUN.BAT yang ada di direktori program MCNP versi 4C dengan klik *mouse* dua kali, dan komputer akan melakukan perhitungan, sampai selesai.
- Diedit *file output* dengan ACRO EDIT untuk

mencari harga K_{eff} dari perhitungan komputer dengan perintah FIND dengan kata kunci FINAL, kemudian klik OK.

- Perhitungan K_{eff} oleh komputer akan ditunjukkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan program MCNP versi 4C diperoleh harga K_{eff} untuk berbagai ketinggian cairan UN dan untuk berbagai posisi sumber neutron. seperti ditunjukkan dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Dari Tabel 1, hasil *run* program MCNP versi 4C menunjukkan bahwa harga K_{eff} = 0.92063 pada ketinggian cairan UN 100 cm untuk case35ao *Run* program MCNP versi 4C diteruskan untuk berbagai ketinggian cairan UN sampai mencapai 330 cm untuk mengetahui harga K_{eff} nya . Harga K_{eff} akan mencapai 0.98657 bila ketinggian cairan mencapai 120 cm. Pada ketinggian antara 130 cm s/d 330 cm harga K_{eff} telah melebihi harga 1,0. Ini menunjukkan bahwa tangki V-401 akan terjadi kritikalitas bila tidak dilakukan rancang ulang supaya geometri tangki aman dari kritikalitas, atau dilakukan penambahan racun neutron yang tidak dapat larut ke dalam tangki V-401.

Dari Tabel 2, *run* MCNP versi 4C dengan memasukkan racun neutron dari gelas borosilikat yang tidak dapat larut menghasilkan harga K_{eff} <1. Dari hasil run untuk ketinggian cairan UN 330 cm dan pada koordinat sumber neutron (15,20,40) dan Case35Ao, diperoleh harga K_{eff} = 0,03016 dan pada 99% *confidence* harga K_{eff} berkisar antara 0,02995 sampai 0,03037. Dari 10 kali hasil run MCNP versi 4C untuk berbagai posisi koordinat sumber neutron dan pada ketinggian cairan 330 cm tetap diperoleh harga K_{eff} disekitar harga 0,030. Ini menunjukkan bahwa dengan memasukkan racun neutron padat tidak dapat larut (gelas *raschig ring* borosilikat) ke dalam tangki V-401, sangat efektif untuk

menurunkan harga K_{eff} , dan kritikalitas tidak akan terjadi mengingat harga $K_{eff} < 1$.

Tabel 1. Hasil Perhitungan K_{eff} untuk berbagai ketinggian cairan uranil nitrat dalam tangki V-401 tanpa borosilikat *raschig ring* UN = 300 gU/L

No. case output	Koordinat sumber netron	Ketinggian cairan UN dalam tangki DI-301 (cm)	Nilai K_{eff} final pada 99% confidence (3σ)	Nilai K_{eff}
Case35ao	(10,10,10)	100 cm	0.91808 s/d 0.93155	0.92063
case35bo	(10,10,10)	110 cm	0.95241 s/d 0.96635	0.95938
case35co	(10,10,10)	120 cm	0.98015 s/d 0.99298	0.98657
Case35do	(10,10,10)	130 cm	1.00575 s/d 1.01628	1.01101
Cse35eo	(10,10,10)	140 cm	1.02106 s/d 1.03292	1.02699
case35go	(5,5,5)	200 cm	1.09609 s/d 1.10664	1.10137
Case35ho	(5,5,5)	250 cm	1.12544 s/d 1.13596	1.13070
Case35io	(5,5,5)	300 cm	1.14363 s/d 1.15371	1.14867
Case35jo	(5,5,5)	330 cm	1.15148 s/d 1.16211	1.15679

Tabel 2. Hasil perhitungan K_{eff} untuk berbagai ketinggian cairan uranil nitrat dalam tangki V-401 (dengan borosilikat *raschig -ring*); UN = 300 gU/L

No. case output	Koordinat sumber netron	Ketinggian cairan UN dalam tangki DI-301 (cm)	Nilai K_{eff} final pada 99% confidence (3σ)	Nilai K_{eff}
case35Ao	(15. 20. 40)	330 cm	0.02995 s/d 0.03037	0.03016
Case35Bo	(15,15,40)	330 cm	0.03001 s/d 0.03042	0.03021
Case35Co	(15,10,60)	330 cm	0.02995 s/d 0.03039	0.03017
Case35kr	(5. 5. 5)	330 cm	0.02994 s/d 0.03036	0.03015
Case35Lo	(10. 10. 10)	330 cm	0.02999 s/d 0.03040	0.03020
Case35mo	(20. 20. 20)	330 cm	0.02983 s/d 0.03026	0.03005
case35no	(30. 20. 20)	330 cm	0.02991 s/d 0.03029	0.03010
Case35so	(10.10.5)	330 cm	0.02993 s/d 0.03038	0.03016
Case35qp	(20.10.5)	330 cm	0.02990 s/d 0.03032	0.03011
Case35ro	(5.10.5)	330 cm	0.02997 s/d 0.03034	0.03015

SIMPULAN.

Dari hasil analysis program MCNP versi 4C untuk tangki V-401, diperoleh harga K_{eff} sebesar 0.98657 bila ketinggian cairan UN mencapai 120 cm. Harga K_{eff} mencapai 1.01101 bila ketinggian cairan UN pada posisi 130 cm. Harga K_{eff} semakin besar yaitu 1.15679 bila ketinggian cairan UN mencapai 330 cm (batas kapasitas penuh). Desain tangki V-401 tidak aman secara geometri. Namun demikian, kalau racun netron gelas *raschig ring* borosilikat dimasukkan (mengisi hampir 1/3 volume tangki) hasil analysis menunjukkan harga $K_{\text{eff}} = 0.030$ untuk ketinggian cairan UN 330 cm. Harga K_{eff} akan tetap konstan di sekitar harga 0.030 untuk berbagai variasi koordinat sumber netron. Tangki V-401 tetap dapat digunakan jika diisi dengan racun netron dari gelas *raschig ring* borosilikat, untuk menurunkan harga $K_{\text{eff}} < 1$.

Suatu unit produksi bahan bakar nuklir yang menggunakan U_{-235} diperkaya dalam proses produksinya berpotensi terjadi reaksi fisi berantai. Reaksi tersebut akan kritis bila setiap netron yang membentuk reaksi fisi terjadi rata-rata satu netron untuk membentuk reaksi fisi

DAFTAR PUSTAKA

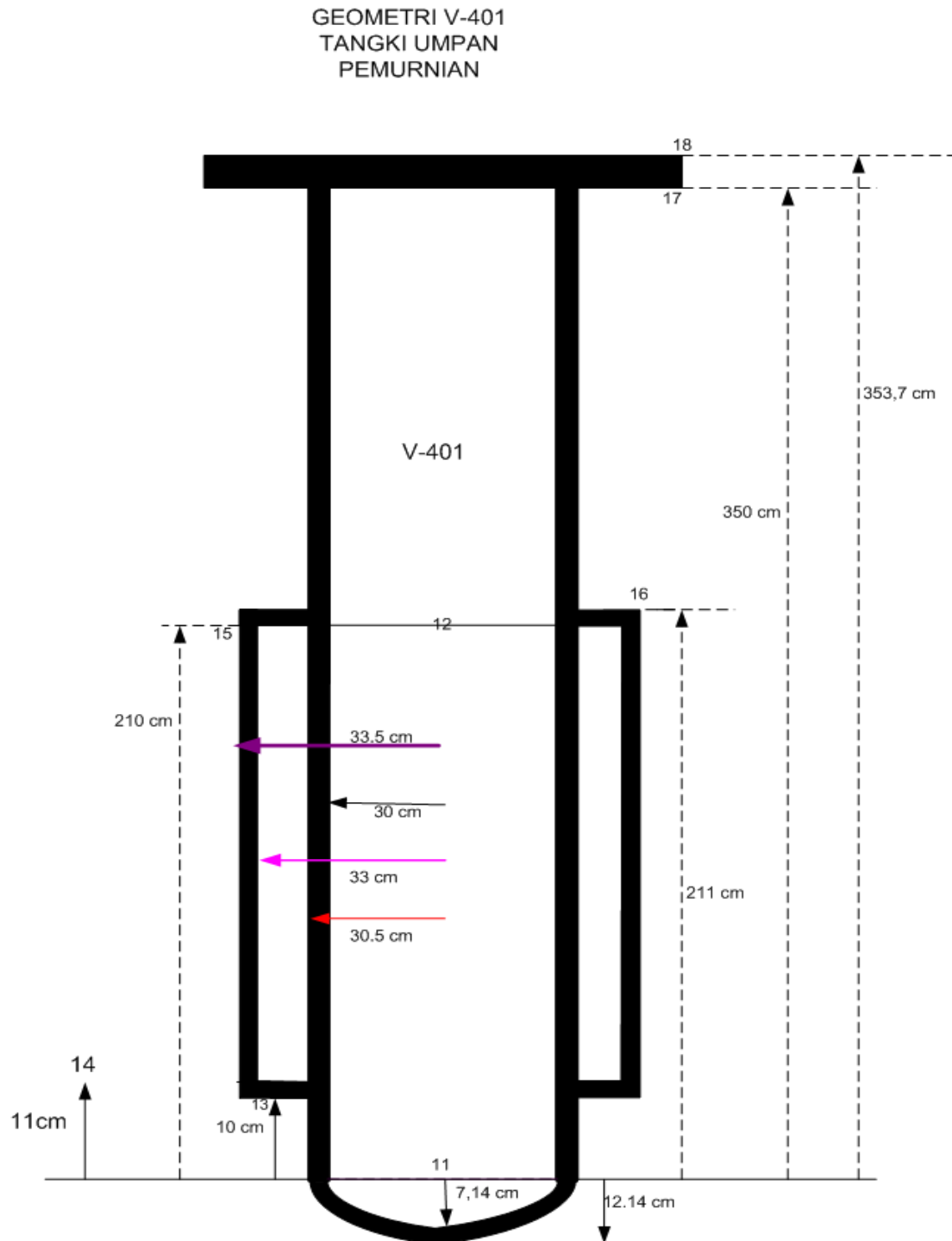
- 1.SUSANTO B.G. dkk, " Laporan Pra Studi Kelayakan Pabrik Elemen Bakar Nuklir

Tahun 2006 Tahap I", PTBN-BATAN, Desember 2006

- 2.ATTURA, BALISTRERI, "*Pilot Conversion Plant From Yellow Cake to UO_2 , Mass and Energy Balances*", SNIA TECHINT, Rome Italy 1984.
- 3.ANONYM, ARH-600 Handbook, "Criticality Safety Program," <http://ncsc.llnl.gov/ARH-60>.
- 4.PRUVOST N.L., PAXTON H.C., "*Nuclear Criticality Safety Guide*" LA-12808, Los Alamos National Laboratory September 1996.
- 5.HOWARD DYER, " *Criticality Safety Limits and Control*" Based on Notes from Criticality Safety Short Course University of New Mexico.
- 6.THOMAS J.T, FOX J.K., JOHNSON E.B., "*Critical Mass Study-Part XIII BoroSilicate Glass Rasching Rings in Aqueous Uranyl Nitrate*", ORNL-TM-499, February 1963.
- 7.BRIESMESISTER, J.F. "*MNCP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code Version 4C*, LA-13709, April 2000.
- 8.SEMBIRING T.M., "Pengenalan Dasar-dasar Perhitungan Kritikalitas Dengan Paket Program Monte Carlo MCNP, PTRKN-BATAN, Hal. 9-11, 27-29 Agustus 2007.
- 9.ANONYM, "*Drawing of V-401 Purification Feed Tank*" "SNIA TECHINT", Preliminary Issue,Rome Italy, November 1983.

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I. GEOMETRI V-401 TANGKI UMPAN PEMURNIAN

Gambar 1. Geometri V-401 tangki umpan pemurnian ^[9]

LAMPIRAN II. PERHITUNGAN PROGRAM KOMPUTER MCNP Untuk Case35do dan Case35Ao

```

1mcnp version 4c Id=01/20/00 08/07/08 14:06:33
*****
14:06:33 probid = 08/07/08
inp=case35d xsdir=xsdir outp=case35do

1- PERHITUNGAN KE KRITISAN TANGKI UMPAN PEMURNIAN V-401
2- 1 1 -1.492 -21 11 -12 imp:n=1 $ Sel uranyl tinggi 130 cm
3- 2 2 4.9425-5 -21 12 -17 imp:n=1 $ SEL VOID URANIL
4- 3 3 0.08668297 21 -22 11 -17 imp:n=1 $ DINDING UN
5- 4 3 0.08668297 -32 31 -11 imp:n=1 $ ALAS TABUNG BTK ELLIPS
6- 8 1 -1.492 -31 -11 imp:n=1 $ SEL UN DLM ELIPS
7- 5 4 9.9987-2 22 -23 14 -15 imp:n=1 $ Air dalam jaket pend.
8- 6 3 8.668297-2 (23 -24 14 -15 ):(-24 22 13 -14 ):
9- (-24 22 15 -16 ) imp:n=1 $ SELUBUNG SS KOLOM AIR
10- 7 3 8.668297-2 -22 17 -18 imp:n=1 $ TUTUP ATAS SS
11- 9 0 #1 #2 #3 #4 #5 #6 #7 #8 imp:n=0 $ Ruang diluar Tank
12-
13- 11 PZ 0
14- 12 PZ 130
15- 13 PZ 10
16- 14 PZ 11
17- 15 PZ 204
18- 16 PZ 206
19- 17 PZ 350
20- 18 PZ 353.7
21- c 19 PZ -7.14
22- c 20 PZ -12.14

```

23- 31 tz 0 1 0 0 11.65 30
warning. completely degenerate torus has been replaced by ellipsoid.

24- 32 tz 0 1 0 0 12.14 30.5
warning. completely degenerate torus has been replaced by ellipsoid.

25- 21 CZ 30 \$ SEL UN

26- 22 CZ 30.5 \$ SEL Stainless Steel

27- 23 CZ 33 \$ SEL DALAM KOLOM AIR

28- 24 CZ 33.5

29-

30- kcode 1000 1. 15 115

31- ksrc 10. 10. 10.

32- m1 92235.60c 3.84317E-05 92238.60c 7.2097E-04 1001.60c 2.591E-03

33- 7014.60c 0.00157 8016.60c 1.2956E-03

34- mt1 lwtr.01t

35- m2 7014.60c 3.9016E-05 8016.60c 1.0409E-05

36- m3 6000.60c 7.1567E-05 14000.60c 0.00071415 25055.60c 9.095E-05

37- 15031.60c 5.0879E-05 16000.60c 1.0424E-05 28000.42c 0.00856

38- 24000.42c 0.016725 26000.42c 0.05956

39- m4 1001.60c 0.066658 8016.60c 0.033329

40- total fission nubar data are being used.

The minimum estimated standard deviation for the col/abs/tl keff estimator occurs with 4 inactive cycles and 111 active cycles.

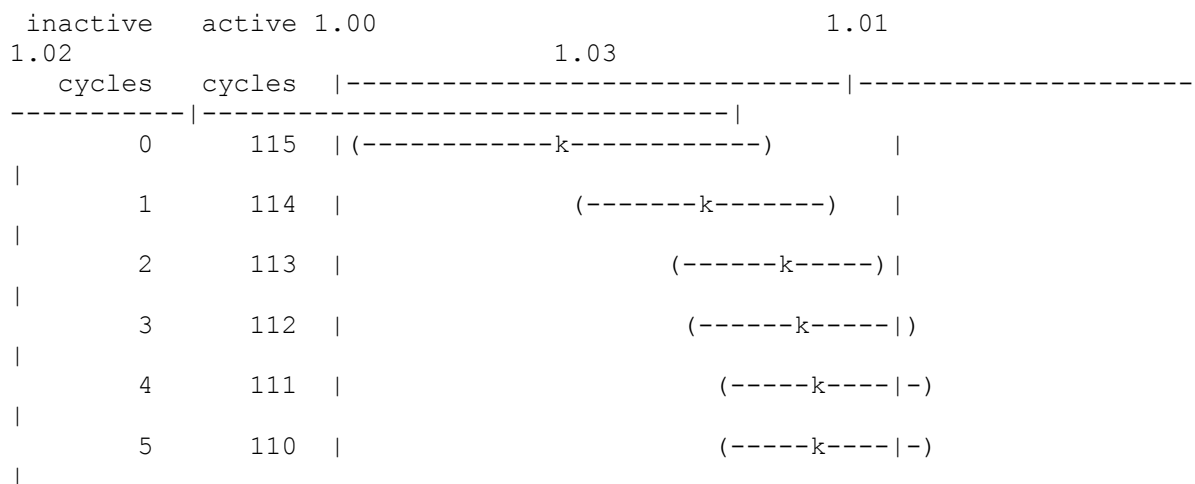
the first active half of the problem skips 15 cycles and uses 50 active cycles; the second half skips 65 and uses 50 cycles.

the col/abs/trk-len keff, one standard deviation, and 68, 95, and 99 percent intervals for each active half of the problem are:

problem	keff	standard deviation	68% confidence	95% confidence	99% confidence
first half	1.01049	0.00305	1.00742 to 1.01356	1.00435 to 1.01662	1.00230 to 1.01868
second half	1.01145	0.00267	1.00877 to 1.01414	1.00608 to 1.01682	1.00429 to 1.01862
final result	1.01101	0.00199	1.00902 to 1.01301	1.00704 to 1.01498	1.00575 to 1.01628

the first and second half values of k(collision/absorption/track length) appear to be the same at the 68 percent confidence level.

1plot of the estimated col/abs/track-length keff one standard deviation interval by active cycle number (| = final keff = 1.01101)



lmcpn version 4c ld=01/20/00 + 08/08/08 09:52:23
 ***** probid = 08/08/08
 09:52:23
 inp=case35A xsdir=xmdir outp=case35Ao

1- PERHITUNGAN KE KRITISAN TANGKI UMPAN PEMURNIAN V-401 DENGAN BOROSILIKAT

- 2- 1 1 0.08667 -21 11 -12 imp:n=1 \$ Sel uranyl tinggi 330 cm
- 3- 2 2 4.9425-5 -21 12 -17 imp:n=1 \$ SEL VOID URANIL
- 4- 3 3 0.08668297 21 -22 11 -17 imp:n=1 \$ DINDING UN
- 5- 4 3 0.08668297 -32 31 -11 imp:n=1 \$ ALAS TABUNG BTK ELLIPS
- 6- 8 1 0.08667 -31 -11 imp:n=1 \$ SEL UN DLM ELIPS
- 7- 5 4 9.9987-2 22 -23 14 -15 imp:n=1 \$ Air dalam jaket pend.
- 8- 6 3 8.668297-2 (23 -24 14 -15):(-24 22 13 -14):

9- (-24 22 15 -16) imp:n=1 \$ SELUBUNG SS KOLOM AIR
 10- 7 3 8.668297-2 -22 17 -18 imp:n=1 \$ TUTUP ATAS SS
 11- 9 0 #1 #2 #3 #4 #5 #6 #7 #8 imp:n=0 \$ Ruang diluar Tank
 12-
 13- 11 PZ 0
 14- 12 PZ 330
 15- 13 PZ 10
 16- 14 PZ 11
 17- 15 PZ 204
 18- 16 PZ 206
 19- 17 PZ 350
 20- 18 PZ 353.7
 21- c 19 PZ -7.14
 22- c 20 PZ -12.14
 23- 31 tz 0 1 0 0 11.65 30
 warning. completely degenerate torus has been replaced by ellipsoid.
 24- 32 tz 0 1 0 0 12.14 30.5
 warning. completely degenerate torus has been replaced by ellipsoid.
 25- 21 CZ 30 \$ SEL UN
 26- 22 CZ 30.5 \$ SEL Stainless Steel
 27- 23 CZ 33 \$ SEL DALAM KOLOM AIR
 28- 24 CZ 33.5
 29-
 30- kcode 1000 1. 15 115
 31- ksrc 15. 20. 40
 32- m1 92235.60c 3.84317E-05 92238.60c 7.2097E-04 1001.60c 2.591E-03
 33- 7014.60c 0.00157 8016.60c 0.053675 5010.60c 5.6896-03
 34- 11023.60c 1.2956-03 14000.60c 0.02043 13027.60c 6.8737-04

35- mt1 lwtr.01t
 36- m2 7014.60c 3.9016E-05 8016.60c 1.0409E-05
 37- m3 6000.60c 7.1567E-05 14000.60c 0.00071415 25055.60c 9.095E-05
 38- 15031.60c 5.0879E-05 16000.60c 1.0424E-05 28000.42c 0.00856
 39- 24000.42c 0.016725 26000.42c 0.05956
 40- m4 1001.60c 0.066658 8016.60c 0.033329
 41- total fission nubar data are being used.

the first active half of the problem skips 15 cycles and uses 50 active cycles; the second half skips 65 and uses 50 cycles.

the col/abs/trk-len keff, one standard deviation, and 68, 95, and 99 percent intervals for each active half of the problem are:

problem	keff	standard deviation	68% confidence	95% confidence	99% confidence
first half	0.03008	0.00009	0.02998 to 0.03017	0.02989 to 0.03027	0.02982 to 0.03033
second half	0.03026	0.00013	0.03013 to 0.03039	0.03000 to 0.03052	0.02991 to 0.03060
final result	0.03016	0.00008	0.03008 to 0.03024	0.03000 to 0.03032	0.02995 to 0.03037

the first and second half values of k(collision/absorption/track length) appear to be the same at the 95 percent confidence level.

1plot of the estimated col/abs/track-length keff one standard deviation interval by active cycle number (| = final keff = 0.03016)

inactive cycles	active cycles	0.0299	0.0301	0.0303	0.0305	0.0307
		----- ----- ----- ----- 0 115				
		(-----k-----)				
1	114			(-----k----- --)		
2	113			(-----k----- --)		
3	112			(-----k----- --)		
4	111			(-----k----- --)		
5	110			(-----k----- --)		
6	109			(-----k----- --)		
7	108			(-----k----- --)		
8	107			(-----k----- --)		
	9	106	+	(-----k----- --)		
+						
	10	105		(-----k----- --)		
	11	104		(----- k-----)		